



① BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 00 910 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 23 K 26/00**

② Aktenzeichen: 199 00 910.4  
② Anmeldetag: 13. 1. 1999  
④ Offenlegungstag: 27. 7. 2000

DE 199 00 910 A 1

⑦ Anmelder:  
Clean Lasersysteme GmbH, 52074 Aachen, DE  
⑦A Vertreter:  
Müller, T., Dipl.-Ing., 81927 München

⑦Z Erfinder:  
Barkhausen, Winfried, Dr., Vaals, NL; Knöppel,  
Werner, Dipl.-Ing., 52070 Aachen, DE; Büchter,  
Edwin, Dipl.-Ing. Dipl.-Kaufm., 52074 Aachen, DE

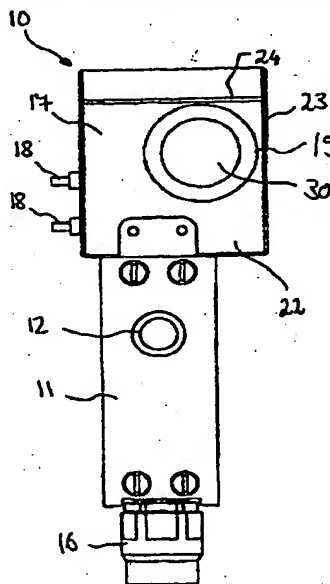
⑤⑤ Entgegenhaltungen:  
DE 198 21 211 A1  
DE 197 06 038 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung

⑤⑦ Es wird eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung beschrieben. Die Vorrichtung weist eine Laserstrahlquelle und einen mit dieser über einen Lichtleiter (14) verbundenen Bearbeitungskopf (10) auf. Der Bearbeitungskopf (10) weist eine Einrichtung zur Strahlformung, in der ein paralleles Strahlenbündel erzeugt wird, eine Einrichtung zur Strahlenablenkung und eine Strahlaustrittsöffnung (19) auf, in der eine Auskopplungsoptik (30) angeordnet ist. Um eine an die Anwendungsprozesse angepaßte Ablenkungsbahn des Laserstrahls auf der zu behandelnden Oberfläche zu erzeugen, sind in der Einrichtung zur Strahlenablenkung erfindungsgemäß zwei jeweils über eine Steuereinrichtung winkelveränderliche Ablenkspiegel vorgesehen, die vorteilhaft orthogonal zueinander angeordnet sind. Um den Bearbeitungskopf (10) auch in Bereichen mit einem nur geringen Platzangebot einsetzen zu können, ist der Lichtleiter (14) in einem Winkel von 90 Grad zur Strahlaustrittsöffnung (19) am Bearbeitungskopf (10) angeordnet. Weiterhin kann die Strahlaustrittsöffnung (19) und damit die Auskopplungsoptik (30) asymmetrisch in der Stirnseite (22) des Bearbeitungskopfes (10) ausgebildet sein.



DE 199 00 910 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung mit einer Laserstrahlquelle und einem mit dieser über einen Lichtleiter verbundenen Bearbeitungskopf, wobei der Bearbeitungskopf eine Einrichtung zur Strahlumformung, eine Einrichtung zur Strahlablenkung und eine Strahlaustrittsöffnung aufweist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung.

Die Oberflächenbehandlung, etwa die Oberflächenreinigung, durch Laserstrahlung stellt mittlerweile eine ökonomische Alternative zu herkömmlichen Reinigungsverfahren, wie beispielsweise dem Beizen, Sandstrahlen oder dergleichen dar. Gegenüber diesen ökologisch oftmals bedenklichen Verfahren weist die Laserstrahl-Reinigungstechnik eine Reihe von Vorteilen auf. Sie ist weder auf Strahlmittel, noch auf Chemikalien angewiesen und ermöglicht somit eine besonders schonende und nahezu rückstandsfreie Reinigung von Bauteilen unterschiedlichster Art. Durch eine gezielte Wahl der Laserparameter kann ein präziser Abtrag von Schmutz- und Deckschichten bewirkt werden, ohne daß das Grundmaterial beschädigt wird.

Dieser Abtrag wird durch einen thermischen Effekt ausgelöst. Ein stark fokussierter Laserstrahl verdampft die abzutragende Deckschicht, ohne das Grundmaterial zu beschädigen. Durch die Einstellung geeigneter Parameter wird eine hohe Flexibilität bei der Bearbeitung unterschiedlicher Deckschicht/Werkstoffkombinationen erreicht.

Aus der WO 96/38 257 ist bereits ein Laserstrahlgerät und -verfahren zur Bearbeitung von Werkstücken bekannt. Hierbei kommt ein fasergekoppeltes, linienförmig ablenkendes Laserstrahlableitungs-System für die handgeführte Bearbeitung zum Einsatz. Mit dieser Vorrichtung, die die Merkmale des Oberbegriffs von Patentanspruch 1 aufweist, ist es möglich, eine Linie zu erzeugen, die zum Abtragen einer Deckschicht im handgeführten Betrieb über eine zu bearbeitende Oberfläche geführt wird. In Überlagerung der beiden Relativbewegungen, nämlich dem abgelenkten Laserstrahl und der Vorschubrichtung des Bearbeitungskopfes, ergibt sich ein Abtragsstreifen mit einer typischen Breite von wenigen Zentimetern. Die bekannte Vorrichtung hat im praktischen Einsatz jedoch eine Reihe von Nachteilen. Durch die Überlagerung der beiden Relativbewegungen kommt es zu Schwebungseffekten der überlagerten Laserimpulse. Diese Effekte sind in der Praxis so gravierend, daß in den meisten Fällen ein homogenes Abtragergebnis nicht möglich ist.

Ein weiterer Nachteil der bekannten Vorrichtung sowie auch anderer Lösungen zum Abtragen von Deckschichten mittels Laserstrahlung besteht oftmals im Hinblick auf die eingeschränkte Zugänglichkeit der zu behandelnden Oberfläche durch die recht großen und ausladend dimensionierten Bearbeitungsköpfe. Hierdurch ist die Nutzung des vorteilhaften Laserstrahlverfahrens für solche Anwendungen unmöglich, bei denen die Platzverhältnisse oberhalb der zu behandelnden Fläche eingeschränkt sind. Dies trifft beispielsweise für den Bereich der Vulkanisierindustrie zu, wo zum Reinigen von Vulkanisierformen selbst im geöffneten Zustand der Vulkanisierpresse häufig nur ein freier Raum von 200 bis 300 mm zur Verfügung steht.

Ausgehend vom genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß die zum Stand der Technik beschriebenen Nachteile vermieden werden. Insbesondere soll eine Vorrichtung zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung bereitgestellt werden, bei der die Ablenkungsbahn des Laserstrahls an die Erfordernisse des jeweiligen Abtragsprozesses opti-

mal angepaßt werden kann. Insbesondere soll die Vorrichtung auch in Bereichen mit einem geringen Platzangebot einsetzbar sein. Darüber hinaus soll ein entsprechend verbessertes Verfahren bereitgestellt werden.

Die Aufgabe wird gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung durch eine Weiterbildung der eingangs beschriebenen Vorrichtung gelöst, die erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet ist, daß zur Erzeugung einer geometrisch geführten Ablenkungsbahn des Laserstrahls auf der zu behandelnden Oberfläche in der Einrichtung zur Strahlablenkung wenigstens zwei Ablenkspiegel vorgesehen sind, daß die zwei Ablenkspiegel in einem Winkel zueinander angeordnet sind und daß zumindest einer der Ablenkspiegel winkelveränderlich angeordnet ist.

Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung kann die Ablenkungsbahn des Laserstrahls an die spezifischen Erfordernisse des jeweiligen Bearbeitungsprozesses, beispielsweise eines Abtragprozesses, angepaßt werden. Dabei liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, daß beispielsweise zur Erzielung eines flächenmäßig sehr gleichmäßig homogenen Abtrags einer Deckschicht mittels Laserstrahlung die örtliche Verteilung der auftretenden Laserimpulse sehr exakt gesteuert werden muß. Dies läßt sich durch die entsprechende Stellung der Ablenkspiegel zueinander realisieren. Dabei ist es notwendig, daß zur Erzeugung einer prozeßangepaßten Bewegungsbahn auf der Oberfläche zwei Ablenkspiegel vorhanden sind.

In der Einrichtung zur Strahlumformung wird der aus dem Lichtleiter in den Bearbeitungskopf eintretende divergierende Laserstrahl in ein paralleles Strahlenbündel überführt. Das parallele Strahlenbündel wird über wenigstens ein Umlenkelement, beispielsweise ein Umlenkspiegel, Umlenkprisma oder dergleichen, in die Einrichtung zur Strahlablenkung eingeleitet und dort durch eine entsprechende Stellung der Ablenkspiegel zueinander gemäß den Erfordernissen des jeweiligen Prozesses abgelenkt. Anschließend wird der Laserstrahl über die Strahlaustrittsöffnung aus dem Bearbeitungskopf ausgekoppelt und auf die zu behandelnde Oberfläche gerichtet. Vorteilhafterweise ist am Umlenkelement ein photoelektrischer Sensor angebracht, der die am Bearbeitungskopf eintreffende Laserstrahlleistung mißt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist besonders vorteilhaft auch für den flexiblen, mobilen Einsatz ausgelegt. Die Laserstrahlung kann in einem kompakten, vom Bearbeitungskopf unabhängigen Basisgerät erzeugt und über den nahezu verlustfreien Lichtleiter, der je nach Bedarf und Anwendungsfall eine Länge von bis zu 100 m haben kann, zum manuell oder automatisiert geführten Bearbeitungskopf transportiert werden. Das Basisgerät verfügt in der Regel über eine geeignete Kühleinrichtung für den Laser.

Vorteilhafte Ausgestaltungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den rückbezogenen Unteransprüchen.

Vorteilhaft können zwei winkelveränderliche Ablenkspiegel vorgesehen sein. Dadurch kann die Bewegungsbahn des Laserstrahls auf der zu behandelnden Oberfläche noch besser eingestellt werden.

Alternativ hierzu kann der zweite winkelveränderliche Ablenkspiegel auch als festumlenkender Spiegel ausgelegt sein. In diesem Fall ergibt sich ein horizontal abgelenkter, linearer Laserstrahl, der insbesondere eine ergonomisch günstige Bearbeitung filigraner Strukturen ermöglicht. In weiterer Ausgestaltung sind die Ablenkspiegel orthogonal zueinander angeordnet. Durch die Anordnung der beiden Ablenkspiegel in einem Winkel von 90 Grad relativ zueinander ist eine Ablenkung des Laserstrahls in zwei voneinander unabhängigen Raumrichtungen möglich.

Vorteilhaft ist wenigstens eine Steuereinrichtung zum

Steuern des oder der winkelveränderlichen Ablenkspiegel vorgesehen. Über die Steuereinrichtung wird der oder die Ablenkspiegel elektronisch angesteuert, und in seiner oder ihrer Ausrichtung verändert, wodurch eine prozeßangepaßte Ablenkung des Laserstrahls auf der Oberfläche erzeugt wird. Vorzugsweise kann die Ansteuerung des oder der winkelveränderlichen Ablenkspiegel mit einer elektronischen Schaltung oder über einen Mikroprozessor, der vorteilhaft programmierbar ist, erfolgen. Ein Vorteil des Mikroprozessors liegt unter anderem in der Möglichkeit einer Korrektur von Ungenauigkeiten der Spiegelbewegung aufgrund ihres dynamischen Schwingungsverhaltens, oder in einer gezielten örtlichen Steuerung der Bewegungsgeschwindigkeit und Bewegungsrichtung des abgelenkten Laserstrahls.

Vorteilhaft können die zwei Ablenkspiegel derart zueinander angeordnet werden oder sein und so angesteuert werden, daß die Ablenkungsbahn des Laserstrahls auf der zu behandelnden Oberfläche kreisförmig, elliptisch, spiralförmig oder in Form einer langgestreckten "Acht", jeweils mit fester, veränderlicher oder oszillierender Amplitude, ausgebildet ist. Die Ablenkungsbahn kann auch als Linie mit modulierter Laserleistung ausgebildet sein. So ist es beispielsweise denkbar, die Linie an bestimmten Stellen zu unterbrechen oder die Laserleistung an Umkehrpunkten der Ablenkungsbahn auszutasten. Dies hat bei einer Reihe von Anwendungen Vorteile, von denen einige im Rahmen der Figurenbeschreibung exemplarisch genannt werden.

In weiterer Ausgestaltung ist der Lichtleiter in einem Winkel größer 45 Grad, vorzugsweise in einem Winkel von 90 Grad, zur Strahlaustrittsöffnung am Bearbeitungskopf angeordnet.

Hierdurch wird eine extrem kompakte Bauweise des Bearbeitungskopfes möglich, die auch bei beengten Raumverhältnissen eine komfortable Anwendung der Vorrichtung möglich macht.

Die Strahlaustrittsöffnung ist vorteilhaft in einer Stirnseite des Bearbeitungskopfes ausgebildet. Vorzugsweise ist die Strahlaustrittsöffnung asymmetrisch in der Stirnseite ausgebildet. Beispielsweise kann die Strahlaustrittsöffnung im Bereich von einer oder zwei Kanten der Stirnseite des Bearbeitungskopfes ausgebildet sein, so daß eine gute Zugänglichkeit speziell bei der Bearbeitung, etwa dem Reinigen, von Kanten oder Ecken möglich ist.

In weiterer Ausgestaltung ist in der Strahlaustrittsöffnung eine Auskopplungsoptik zum Auskoppeln des Laserstrahls aus dem Bearbeitungskopf vorgesehen. Die Auskopplungsoptik kann als Fokussieroptik ausgebildet sein und befindet sich vorteilhaft in unmittelbarer Nähe zum zweiten Ablenkspiegel, der winkelveränderlich oder festumlenkend angeordnet sein kann. Die Auskopplungsoptik kann als Objektiv mit variabler Brennweite ausgebildet sein. Hierdurch lassen sich auf einfache Weise auf den jeweiligen Anwendungsfall angepaßte optimale Strahldurchmesser für den Laserstrahl erzeugen. In anderer Ausgestaltung können für die Auskopplungsoptik auch Wechselobjektive mit unterschiedlichen (abgestuften) Brennweiten eingesetzt werden.

Weiterhin kann am Bearbeitungskopf zusätzlich eine Absaugvorrichtung vorgesehen sein. Vorteilhaft ist die Absaugvorrichtung im Bereich der Strahlaustrittsöffnung angeordnet. Mit der Absaugvorrichtung, die vorteilhafterweise als Hochvakuum-Sauggerät ausgestaltet ist, ist eine lokale Absaugung der abgetragenen Gase, Dämpfe und Partikel direkt am Entstehungsort möglich, wo ihre Konzentration am größten ist. In bevorzugter Ausgestaltung kann die Absaugvorrichtung als eine um die Strahlaustrittsöffnung und damit beispielsweise auch um die Auskopplungsoptik herum konzentrisch geformte Absaugdüse ausgebildet sein.

Vorteilhaft kann der Bearbeitungskopf zur manuellen

Handführung ein Griffelement aufweisen.

Im Bereich des Griffelements kann vorteilhaft ein Bügелеlement vorgesehen sein. Dieses Bügелеlement dient dem Schutz der Hand und der Finger einer Bedienerperson bei Verwendung des Bearbeitungskopfes im handgeführten Betrieb. Insbesondere ist dies aus Arbeitsschutzgründen bei der Bearbeitung heißer Werkstückoberflächen erforderlich.

Vorteilhaft ist/sind am Bearbeitungskopf wenigstens ein, vorzugsweise zwei Schalterelemente vorgesehen. Hierbei handelt es sich insbesondere um einen Auslöser für den Laserstrahl und eventuell um einen zusätzlichen Sicherheitsauslöser. Dieser Sicherheitsauslöser hat die Funktion, eine unbeabsichtigte Auslösung des Laserstrahls im Handbetrieb zu verhindern, und ist vorteilhafterweise als Taster mit Selbsthaltefunktion ausgestaltet.

Wenn der Bearbeitungskopf im Handbetrieb verwendet wird, ist der Lichtleiter vorzugsweise derart mit dem Griffelement verbunden, daß der Lichtleiter in einem Winkel von größer 45 Grad, vorzugsweise in einem Winkel von 90 Grad, zur Strahlaustrittsöffnung ausgerichtet ist. Dadurch wird eine Anwendung des Bearbeitungskopfes auch in Bereichen mit einem geringen Platzangebot, beispielsweise in geöffneten Vulkanisierformen, möglich. Je nach Ausgestaltung des Bearbeitungskopfes kann der Lichtleiter am Griffelement angekoppelt oder auch durch dieses hindurchgeführt werden. Zusätzlich kann ein Diodenlaser vorgesehen sein, über den in den Strahlengang des Bearbeitungslasers ein Diodenlaserstrahl eingekoppelt wird oder eingekoppelbar ist. Der Diodenlaserstrahl macht im ausgeschalteten Zustand des eigentlichen Bearbeitungslasers als sichtbarer Leuchtfleck die gewählte Laserablenkungsbahn sichtbar. Die Einblendung des Diodenlaserstrahls erfolgt vorzugsweise am ersten (festmontierten) Umlenkelement der Einrichtung zur Strahlformung in einem Winkel von 90 Grad zum eintretenden Bearbeitungslaserstrahl.

In weiterer Ausgestaltung kann ein photoelektrischer Sensor zur Messung der Laserstrahlleistung vorgesehen sein. Dieser Sensor ist vorteilhaft ebenfalls im Bereich des ersten (festmontierten) Umlenkelements angeordnet.

Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung werden sowohl die Strahlführung, die Strahlablenkung, als auch die Strahlformung für die Prozeßführung optimiert, so daß die im Stand der Technik beschriebenen Nachteile vermieden werden. Somit ist durch die erfindungsgemäße Vorrichtung sowohl im handgeführten, als auch im automatisierten Betrieb ein qualitativ und ökonomisch vorteilhafter Einsatz der Laserstrahltechnik zur Behandlung von Oberflächen für industrielle Anwendungen möglich.

Gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung unter Verwendung einer wie vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtung bereitgestellt, das erfindungsgemäß durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:

- a) Einkoppeln des Laserstrahls über den Lichtleiter in den Bearbeitungskopf;
- b) Überführen des Laserstrahls in der Einrichtung zur Strahlformung in ein paralleles Strahlenbündel;
- c) Ablenken des Laserstrahls über die wenigstens zwei in einem Winkel zueinander angeordneten Ablenkspiegel in der Einrichtung zur Strahlablenkung derart, daß der aus der Strahlaustrittsöffnung ausgekoppelte Laserstrahl in einer geometrisch geführten Ablenkungsbahn auf der zu behandelnden Oberfläche geführt wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann die Ablenkungsbahn des Laserstrahls auf die jeweils herrschenden

Prozesse und Bedingungen eingestellt werden. Weiterhin können auch solche Oberflächen behandelt werden, die sich in engen und nur schwer zugänglichen Räumen, wie beispielsweise in Vulkanisierformen oder dergleichen, befinden. Zu den Vorteilen, Wirkungen Effekten und der Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auf die vorstehenden Ausführungen zur erfindungsgemäßen Vorrichtung vollinhaltlich Bezug genommen und hiermit verwiesen.

Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Vorteilhaft wird wenigstens einer der Ablenkspiegel, vorzugsweise zwei Ablenkspiegel, über eine Steuereinrichtung, insbesondere eine Mikroprozessorsteuerung, winkelveränderlich angesteuert, wobei die Geometrie der Ablenkungsbahn des Laserstrahls über die Betätigung der Steuereinrichtung und die damit verbundene Winkelveränderung des oder der Ablenkspiegel eingestellt wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung kann die Ablenkungsbahn des Laserstrahls in Form einer langgestreckten "Acht" eingestellt werden. Hierdurch ergeben sich bei konstantem Vorschub der Bearbeitungsoptik exakt zueinander ausgerichtete parallele Bearbeitungslinien auf der Oberfläche.

In weiterer Ausgestaltung kann die Ablenkungsbahn des Laserstrahls in Form eines Kreises, einer Ellipse oder einer Spirale, jeweils mit fester, veränderlicher oder oszillierender Amplitude, eingestellt werden.

Durch das Verfahren ist es auch möglich, die Strahleinwirkung des Laserstrahls auf die zu behandelnde Oberfläche an den Umkehrpunkten der Ablenkbewegung zu reduzieren oder zu unterbrechen. Dies ist in einigen, weiter unten näher beschriebenen Anwendungsfällen von Vorteil.

Vorteilhaft kann die erfindungsgemäße Vorrichtung und/oder das erfindungsgemäße Verfahren zum handgeführten oder automatisierten oder robotergestützten Bearbeiten von Oberflächen, insbesondere zum Abtragen von Oberflächenschichten oder zum Reinigen von technischen Oberflächen, verwendet werden. Beispielsweise kann die Vorrichtung und/oder das Verfahren zum Reinigen/Abtragen, Entrosten/Entzundern, Entfetten/Entölen oder Entschichten/Entlacken von Bauteiloberflächen verwendet werden. Natürlich sind auch andere Anwendungsgebiete und -arten denkbar, so daß die Erfindung nicht auf die beschriebenen Beispiele beschränkt ist.

Die Erfindung wird nun auf exemplarische Weise anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a eine schematische Ansicht des optischen Strahlengangs des Laserstrahls innerhalb des Bearbeitungskopfes mit zwei winkelveränderlichen Ablenkspiegeln;

Fig. 1b eine schematische Ansicht des optischen Strahlengangs des Laserstrahls innerhalb des Bearbeitungskopfes mit einem winkelveränderlichen und einem festumlenkenden Ablenkspiegel;

Fig. 2a eine Seitenansicht des Bearbeitungskopfes;

Fig. 2b eine Frontansicht des Bearbeitungskopfes gemäß Fig. 2a;

Fig. 3a eine Seitenansicht einer weiteren Ausführungsform des Bearbeitungskopfes;

Fig. 3b eine Frontansicht des Bearbeitungskopfes gemäß Fig. 3a;

Fig. 4 bis 9 verschiedene Ablenkungsbahnen für den Laserstrahl;

Fig. 10a, 10b, 10c ein mit einer bestimmten Ablenkungsbahn des Laserstrahls bearbeitetes Werkstück;

Fig. 11a, 11b, 11c ein mit einer anderen Ablenkungsbahn des Laserstrahls bearbeitetes Werkstück und

Fig. 12a, 12b, 12c ein mit noch einer Ablenkungsbahn des Laserstrahls bearbeitetes Werkstück.

In den Fig. 1 bis 3b ist eine Vorrichtung zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung dargestellt, die insbesondere zum Abtragen von Oberflächendeckschichten oder zum Reinigen von technischen Oberflächen verwendet wird. Die Vorrichtung weist eine nicht dargestellte geeignete Laserstrahlquelle auf, die über einen Lichtleiter 14, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel als flexible Lichtleitfaser ausgebildet ist, mit einem Bearbeitungskopf 10 verbunden ist. Der Bearbeitungskopf 10 ist zur Handbearbeitung ausgelegt, kann aber genauso gut automatisiert oder robotergestützt betrieben werden.

Die Laserstrahlung gelangt über den Lichtleiter 14 zunächst in eine im Bearbeitungskopf 10 befindliche Einrichtung zur Strahlformung 40, wie dies in den Fig. 1a und 1b dargestellt ist. Mit einer in ihrer Brennweite variabel zu gestaltenden Kollimatoroptik, die eine Kollimatorlinse 41 aufweist, wird der aus dem Lichtleiter 14 austretende divergierende Laserstrahl in ein paralleles Strahlenbündel überführt. Mit einem oder mehreren festen Umlenkelementen 42 wird der Laserstrahl in eine Einrichtung zur Strahlablenkung 50 gelenkt. Die Einrichtung zur Strahlablenkung 50 weist zwei Ablenkspiegel 51, 52 auf, die vorteilhafterweise in einem Winkel von 90 Grad relativ zueinander angeordnet sind. Hierdurch ist eine Ablenkung des Laserstrahls in zwei voneinander unabhängigen Raumrichtungen möglich. In unmittelbarer Nähe des zweiten Ablenkspiegels 52 befindet sich eine speziell für die Abbildung abgelenkter Laserstrahlung optimierte Auskopplungsoptik 30, die beispielsweise als Fokussieroptik ausgebildet sein kann. Diese ist vorteilhaft als Objektiv mit variabler Brennweite ausgebildet, kann aber auch eine Anzahl von Wechselobjektiven mit jeweils unterschiedlichen Brennweiten aufweisen. Diese Anordnung der Optiken und Spiegel ermöglicht einen äußerst kompakten Aufbau sämtlicher strahlführenden und strahlformenden, optischen Elemente, die die geometrischen Abmessungen der Vorrichtung sehr kompakt werden läßt.

Bei dem in Fig. 1a dargestellten Strahlengang sind beide Ablenkspiegel 51, 52 als winkelveränderliche Ablenkspiegel ausgebildet. Die Ablenkspiegel 51, 52 lassen sich jeweils über eine Drehachse 53 schwenken. Die Ansteuerung und damit die Winkelveränderung der Ablenkspiegel 51, 52 erfolgt über eine nicht dargestellte Steuereinrichtung, die beispielsweise einen programmierbaren Mikroprozessor aufweisen kann.

Durch die in Fig. 1a dargestellte Anordnung eines fest montierten Umlenkelements 42, beispielsweise eines Umlenkspiegels oder Umlenkprismas, und den zwei winkelveränderlichen Ablenkspiegeln 51, 52 wird ein asymmetrischer Strahlaustritt ermöglicht, der sowohl an der Oberseite, als auch an der seitlichen Wand eine bestmögliche Zugänglichkeit des Laserstrahls für das Bearbeiten, beispielsweise das Reinigen, schwer zugänglicher Bauteile ermöglicht. Das Umlenkelement ist derart gestaltet, daß zusätzlich ein photoelektrischer Sensor zur Messung der Laserstrahlleistung befestigt werden kann und/oder ein Diodenlaserstrahl in den Bearbeitungslaserstrahl eingeblendet werden kann.

Durch die beschriebene Anordnung des Strahlengangs werden geometrische Ablenkbahnen 60 des Laserstrahls auf den zu behandelnden Oberflächen erzeugt, die beispielsweise in den Fig. 4 bis 10 dargestellt sind.

Je nach Bedarf und Anwendungsfall kann entweder der erste oder der zweite Ablenkspiegel nicht als winkelveränderlicher, sondern als festumlenkender Spiegel ausgebildet und angeordnet sein. Hierdurch ergibt sich entweder ein vertikal oder ein horizontal abgelenkter, linearer Laserstrahl, der eine ergonomisch günstige Bearbeitung filigraner Struk-

turen ermöglicht. In Fig. 1b ist der erste Ablenkspiegel 51 winkelveeränderlich und der zweite Ablenkspiegel 52 festumlenkend angeordnet. Beispiele für Ablenkungsbahnen 60 des Laserstrahls, die mit einer solchen Anordnung erzeugt werden können, sind in den Fig. 11 und 12 dargestellt.

In den Fig. 2a und 2b ist schematisch ein Bearbeitungskopf 10 dargestellt. Der Bearbeitungskopf 10 ist zum Handbetrieb ausgelegt und weist daher ein Griffelement 11 auf. Weiterhin sind zum Auslösen des Laserstrahls ein Schalterelement 12 und ein als Sicherheitsschalter fungierendes Schalterelement 13 vorgesehen. Der Bearbeitungskopf 10 weist weiterhin einen mit dem Griffelement 11 verbundenen Gehäusebereich 17 auf, in dem zumindest die Einrichtung zur Strahlablenkung 50 und die Auskopplungsoptik 30 angeordnet sind. Die Auskopplungsoptik 30 ist durch eine in einer Stirnseite 22 des Bearbeitungskopfes 10 vorgesehene Strahlaustrittsöffnung 19 hindurchgeführt. Die Strahlaustrittsöffnung 19 und damit auch die Auskopplungsoptik 30 sind asymmetrisch, im vorliegenden Fall im Bereich der Kanten 23, 24, in der Stirnseite 22 vorgesehen beziehungsweise angeordnet. Dadurch lassen sich mit dem Bearbeitungskopf 10 bequem Kanten und Ecken von Bauteilen behandeln.

Der Lichtleiter 14 ist vorteilhaft am unteren Ende des Griffelements 11 montiert. Je nach Bedarf kann der Lichtleiter 14 auch durch das Griffelement hindurchgeführt werden. Um den Bearbeitungskopf 10 auch in Bereichen mit nur geringem Platzangebot einsetzen zu können, ist der Lichtleiter 14 in einem Winkel von 90 Grad zur Strahlaustrittsöffnung 19 am Befestigungskopf 10 angeordnet.

Die Einstellung der Laserparameter und anderer Parameter erfolgt über Einstellelemente 18.

Der Lichtleiter 14 und andere elektronische Verbindungselemente 15 werden durch einen biegsamen, mechanisch und gegen Staub schützenden Außenschlauch 16 geschützt, der am unteren Ende des Griffelements 11 befestigt ist. Durch diese Anordnung der Elemente 14, 15 und 16 wird eine bestmögliche Zugänglichkeit, beispielsweise für das Reinigen schwer zugänglicher Teile, wie etwa Vulkanisierformen oder dergleichen im eingebauten Zustand, erreicht. Der Bearbeitungskopf 10 wird hierbei vorteilhaft in Leichtmetall ausgeführt, so daß bei kleinst möglichem Gewicht eine höchst mögliche Festigkeit erreicht wird.

Wie in den Fig. 3a und 3b dargestellt ist, kann aus arbeitssicherheitstechnischen Gründen ein vorgelagertes Bügelement 20 vorgesehen sein, das speziell bei der Reinigung sehr heißer Vulkanisierformen (typische Temperatur etwa 180°C) ein versehentliches Berühren und hierdurch Verbleuen der Finger an der heißen Form verhindert. Zur Auflage der Hand ist weiterhin eine Handauflage 25 vorgesehen, die gleichzeitig einen mechanischen Schutz des Bearbeitungskopfes 10 bei Stößen darstellt.

Zusätzlich weist der Behandlungskopf eine konzentrisch ausgebildete Absaugvorrichtung 21 auf, die um die Auskopplungsoptik 30 herum angeordnet ist.

Die Fig. 4 bis 12 zeigen verschiedene Ablenkungsbahnen 60 des Laserstrahls. Fig. 4 zeigt eine kreisförmige Ablenkgeometrie, wie sie beispielsweise für das Abtragen von Dichtungsresten auf Dichtflächen vorteilhaft ist. Bei dieser Anwendung sind die Verunreinigungen auf der zu reinigenden Dichtfläche örtlich ungleichmäßig verteilt: dünne Schicht in der Mitte und wulstartig dicke Schicht an den Rändern. Um diese Schichten vollständig zu entfernen, muß die Laserstrahlung in den Randbereichen vergleichsweise länger einwirken. Durch Ablenkung der Laserstrahlung in der in Fig. 4 gezeigten Form besitzt die Laserstrahlung im Randbereich der dickeren Rückstände eine längere Verweildauer, wodurch der Abtrag in diesen Bereichen effizienter

erfolgt. Hierdurch lassen sich für diese Anwendung, insbesondere im automatisierten Betrieb, höhere Vorschubgeschwindigkeiten erzielen.

Durch Verwendung einer Ablenkungsbahn 60 gemäß Fig. 5 kann die Breite der Abtragspur auf einfache Weise an unterschiedliche Bauteilgeometrien angepaßt werden.

Die Fig. 6 und 7 zeigen eine ellipsenförmige Strahlablenkung mit und ohne veränderlicher Amplitude.

Bei der in Fig. 8 gezeigten, spiralförmigen Ablenkung kann durch Anpassung des Spurbstands zweier benachbarter Spuren auf einfache Weise eine flächendeckende Anordnung der Laserstrahlspuren und damit ein flächig gleichmäßiger Abtrag erzielt werden.

Bei den Fig. 5 und 7 kann die Veränderung der Amplitude zyklisch moduliert werden, so daß auch hier eine optimale flächige Verteilung auf der zu behandelnden Oberfläche erzielt wird.

In Fig. 9 wird eine weitere, vorteilhafte Ablenkungsbahn 60 dargestellt. Die Laserstrahlung wird in Form einer liegenden "Acht" so abgelenkt, daß am Ende einer horizontalen Bahn ein schneller Sprung der Laserstrahlung erfolgt. Durch die Strahlumlenkung in Form einer liegenden "Acht" wird bei gleichzeitigem Vorschub des Bearbeitungskopfes 10 eine exakt parallele, mäanderförmige Anordnung der einzelnen Abtragslinien erreicht. Dies ist in Fig. 10c dargestellt. Hierdurch kann sowohl im handgeführten, wie auch im automatisierten Betrieb ein flächig extrem homogener Abtrag erzielt werden. Ein solcher homogener Abtrag ist an einem Werkstück 70 in den Fig. 10a und 10b dargestellt. Das Werkstück 70 besteht aus einem Grundmaterial 71 und einer Deckschicht 72. Durch die Laserbearbeitung ergibt sich ein homogenes Abtragsmuster 73. Durch die erzielbare höhere Vorschubgeschwindigkeit wird eine erhöhte Wirtschaftlichkeit bei der Laserbearbeitung erreicht.

Wenn, wie in Fig. 1b dargestellt wurde, der zweite Ablenkspiegel als festumlenkender Spiegel ausgebildet und angeordnet ist, wird mit der Einrichtung zur Strahlablenkung 50 eine horizontale Linie erzeugt, wie sie in den Fig. 11c und 12c dargestellt ist. Gemäß Fig. 11c ergibt sich bei konstantem Vorschub der Bearbeitungsoptik eine dreiecksförmige Ablenkungsbahn 60 des Laserstrahls auf der Oberfläche.

Hierdurch ergibt sich, wie dies in Fig. 11a und 11b dargestellt ist, ein ungleichmäßiges Abtragsmuster mit mit vertieften Kanten 74 im Randbereich. In den Umkehrpunkten des winkelveeränderlichen Ablenkspiegels 51 beträgt die Relativgeschwindigkeit des Laserstrahls zur Oberfläche für einen kleinen Moment Null. Hierdurch kommt es insbesondere bei temperaturempfindlichen Oberflächen, wie beispielsweise Vulkanisierformen, die durch ein zu langes Verweilen der Laserstrahlung Oxidschichten bilden können, zu einer unerwünschten Werkstückbeeinflussung, die im schlimmsten Fall zu einer Werkstückzerstörung führt. Es wird deshalb vorgeschlagen, die Laserstrahlung in den Umkehrpunkten des winkelveeränderlichen Spiegels auszuschalten, so daß eine Werkstoffbeeinflussung sicher ausgeschlossen werden kann. Eine solche Ablenkungsbahn 60 ist in Fig. 12c dargestellt. Durch die Ausschaltung der Laserstrahlung in den Umkehrpunkten 75 kann wiederum ein extrem homogenes Abtragsmuster 73 erzielt werden.

#### Bezugszeichenliste

- 10 Bearbeitungskopf
- 11 Griffelement
- 12 Schalterelement
- 13 Schalterelement
- 14 Lichtleiter

15 elektrische Verbindungsleitung  
 16 Außenschlauch  
 17 Gehäusebereich  
 18 Einstellelement  
 19 Strahlaustrittsöffnung  
 20 Bügelement  
 21 Stirnseite  
 23 Kante  
 23 Kante  
 25 Handauflage  
 30 Auskopplungsoptik  
 40 Einrichtung zur Strahlformung  
 41 Kollimatorlinse  
 42 festes Umlenkelement  
 50 Einrichtung zur Strahlablenkung  
 51 winkelveränderlicher Ablenkspiegel  
 52 winkelveränderlicher Ablenkspiegel  
 53 Drehachse  
 60 Ablenkungsbahn  
 70 Werkstück  
 71 Grundmaterial  
 72 Deckschicht  
 73 Abtragsmuster  
 74 Kante  
 75 Umkehrpunkt

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung, mit einer Laserstrahlquelle und einem mit dieser über einen Lichtleiter (14) verbundenen Bearbeitungskopf (10), wobei der Bearbeitungskopf (10) eine Einrichtung zur Strahlformung (40), eine Einrichtung zur Strahlablenkung (50) und eine Strahlaustrittsöffnung (19) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung einer geometrisch geführten Ablenkungsbahn (60) des Laserstrahls auf der zu behandelnden Oberfläche in der Einrichtung zur Strahlablenkung (50) wenigstens zwei Ablenkspiegel (51, 52) vorgesehen sind, daß die zwei Ablenkspiegel (51, 52) in einem Winkel zueinander angeordnet sind und daß zumindest einer der Ablenkspiegel (51, 52) winkelveränderlich angeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei winkelveränderliche Ablenkspiegel (51, 52) vorgesehen sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkspiegel (51, 52) orthogonal zueinander angeordnet sind.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine Steuereinrichtung zum Steuern des oder der winkelveränderlichen Ablenkspiegel (51, 52) vorgesehen ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung als Mikroprozessorsteuerung ausgebildet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Ablenkspiegel (51, 52) derart zueinander angeordnet sind, daß die Ablenkungsbahn (60) des Laserstrahls auf der zu behandelnden Oberfläche kreisförmig, elliptisch, spiralförmig oder in Form einer langgestreckten "Acht", jeweils mit fester, veränderlicher oder oszillierender Amplitude, ausgebildet ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtleiter (14) in einem Winkel größer 45 Grad, vorzugsweise in einem Winkel von 90 Grad, zur Strahlaustrittsöffnung (19)

- am Bearbeitungskopf (10) angeordnet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlaustrittsöffnung (19) in einer Stirnseite (22) des Bearbeitungskopfes (10) ausgebildet ist und daß die Strahlaustrittsöffnung (19) vorzugsweise asymmetrisch in der Stirnseite (22) ausgebildet ist.
  9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß in der Strahlaustrittsöffnung (19) eine Auskopplungsoptik (30) zum Auskoppeln des Laserstrahls vorgesehen ist.
  10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß am Bearbeitungskopf (10) eine Absaugvorrichtung (21) vorgesehen ist und daß die Absaugvorrichtung (21) vorzugsweise im Bereich der Strahlaustrittsöffnung (19) angeordnet ist.
  11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungskopf (10) zur manuellen Handführung ein Griffelement (11) aufweist.
  12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich des Griffelements (11) ein Bügelement (20) vorgesehen ist.
  13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß am Bearbeitungskopf (10) wenigstens ein, vorzugsweise zwei Schalterelemente (12, 13) vorgesehen ist/sind, wobei das zweite Schalterelement insbesondere als Sicherheitsschalter, vorzugsweise als Taster mit Selbsthaltefunktion, ausgestaltet ist.
  14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtleiter (14) derart mit dem Griffelement (11) verbunden ist, daß der Lichtleiter (14) in einem Winkel größer 45 Grad, vorzugsweise in einem Winkel von 90 Grad zur Strahlaustrittsöffnung (19) ausgerichtet ist.
  15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß ein Diodenlaser vorgesehen ist, dessen Strahl in den Strahlengang des Bearbeitungslasers eingekoppelt wird oder einkoppelbar ist.
  16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß ein photoelektrischer Sensor zur Messung der Laserstrahlleistung vorgesehen ist.
  17. Verfahren zum Behandeln von Oberflächen mittels Laserstrahlung unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, gekennzeichnet durch folgende Schritte: a) Einkoppeln des Laserstrahls über den Lichtleiter in den Bearbeitungskopf; b) Überführen des Laserstrahls in der Einrichtung zur Strahlformung in ein paralleles Strahlenbündel; c) Ablenken des Laserstrahls über die wenigstens zwei in einem Winkel zueinander angeordneten Ablenkspiegel in der Einrichtung zur Strahlablenkung derart, daß der aus der Strahlaustrittsöffnung ausgekoppelte Laserstrahl in einer geometrisch geführten Ablenkungsbahn auf der zu behandelnden Oberfläche geführt wird.
  18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer der Ablenkspiegel, vorzugsweise zwei Ablenkspiegel, über eine Steuereinrichtung, insbesondere eine Mikroprozessorsteuerung, winkelveränderlich angesteuert werden und daß die Geometrie der Ablenkungsbahn des Laserstrahls über die Betätigung der Steuereinrichtung und die damit verbundene Winkelveränderung des oder der Ablenkspiegel eingestellt wird.
  19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkungsbahn des Laser-

strahls in Form einer langgestreckten "Acht" eingestellt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Ablenkungsbahn des Laserstrahls in Form eines Kreises, einer Ellipse oder einer Spirale, jeweils mit fester, veränderlicher oder oszillierender Amplitude, eingestellt wird. 5

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahleinwirkung des Laserstrahls auf die zu behandelnde Oberfläche an den Umkehrpunkten der Ablenkbewegung reduziert oder unterbrochen wird. 10

22. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16 und/oder eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 17 bis 21 zum handgeführten oder automatisierten oder robotergestützten Bearbeiten von Oberflächen, insbesondere zum Abtragen von Oberflächenschichten oder zum Reinigen von technischen Oberflächen. 15

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -



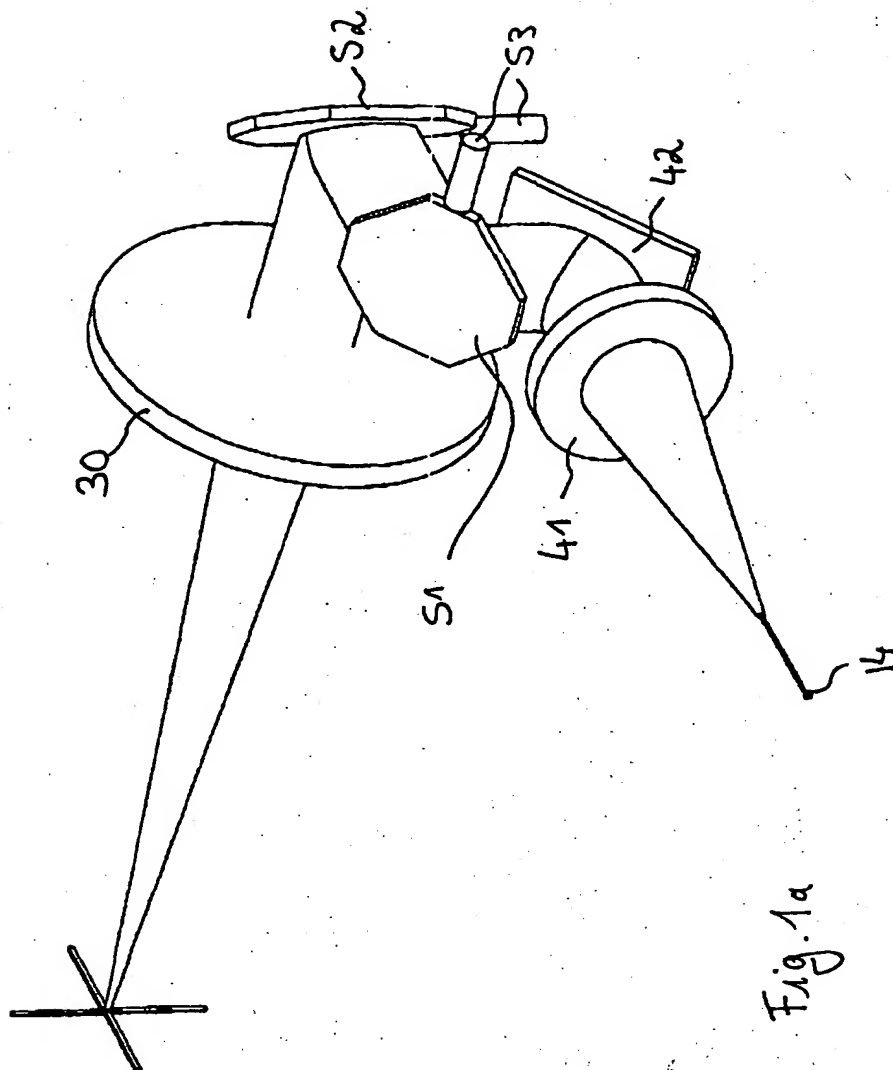
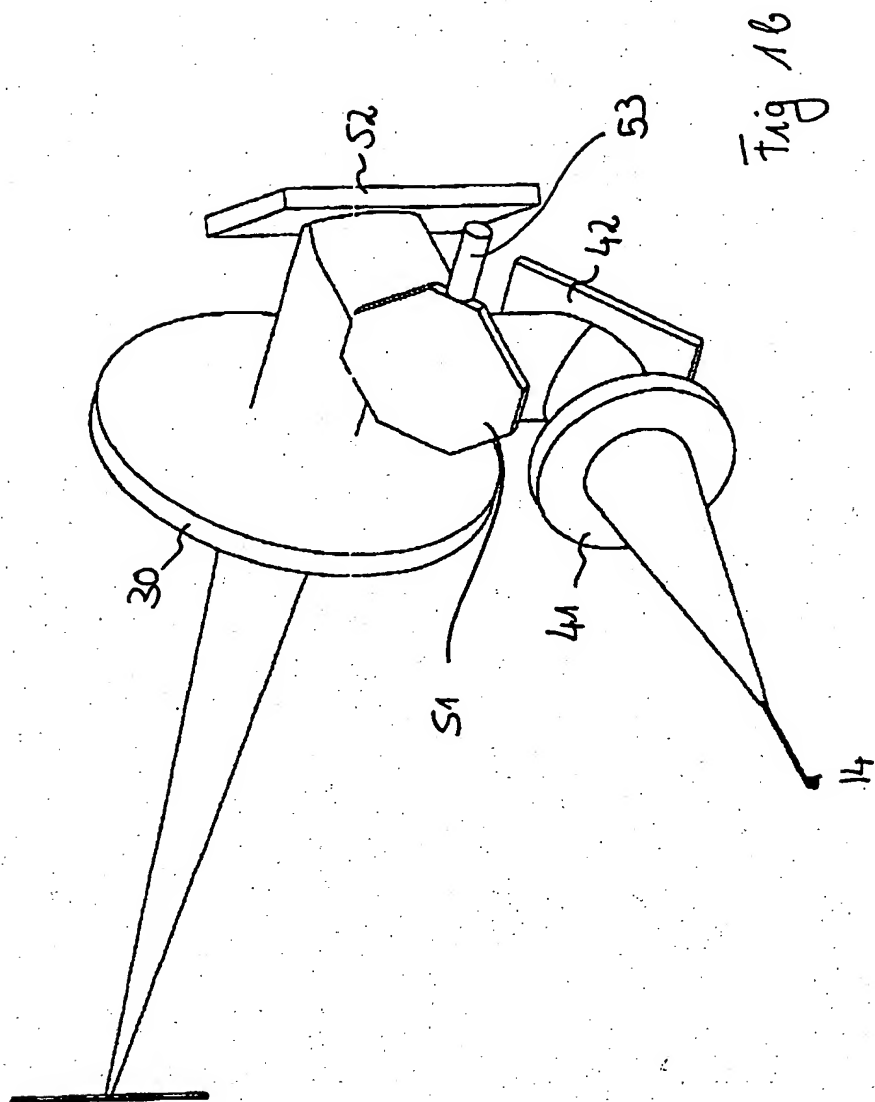


Fig. 1a



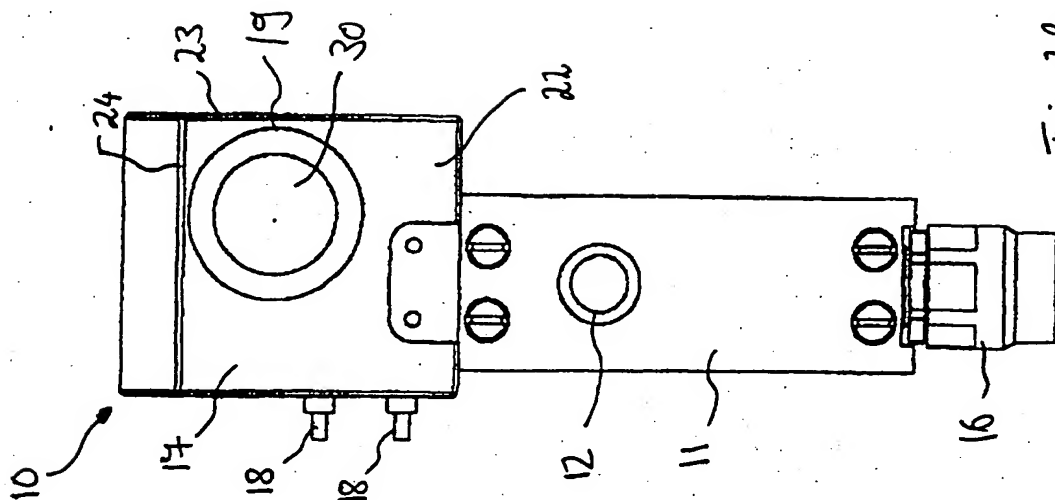


Fig. 2b

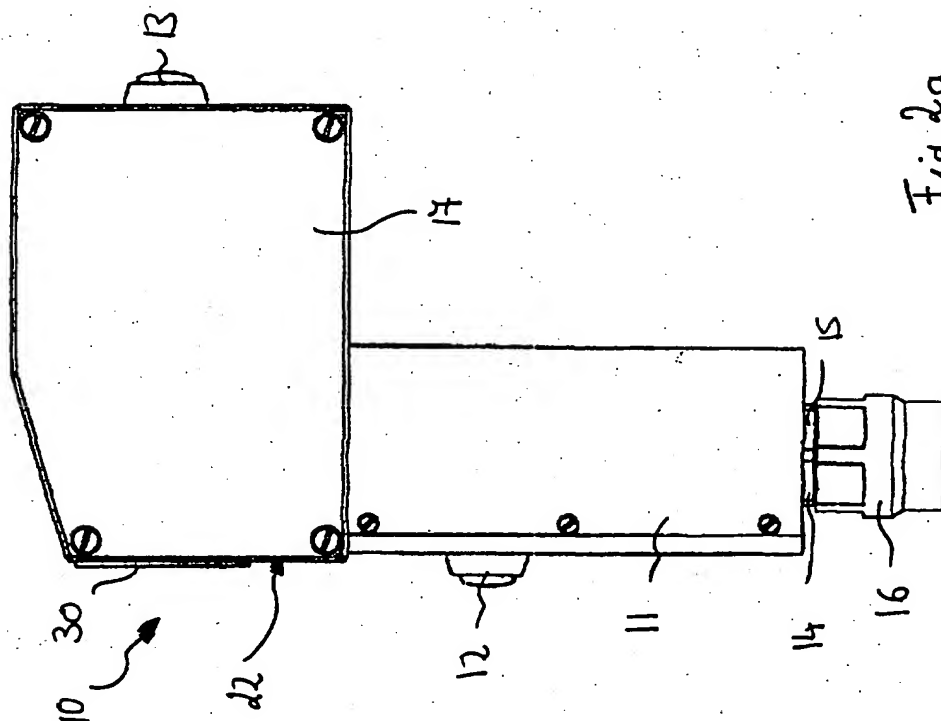


Fig. 2a

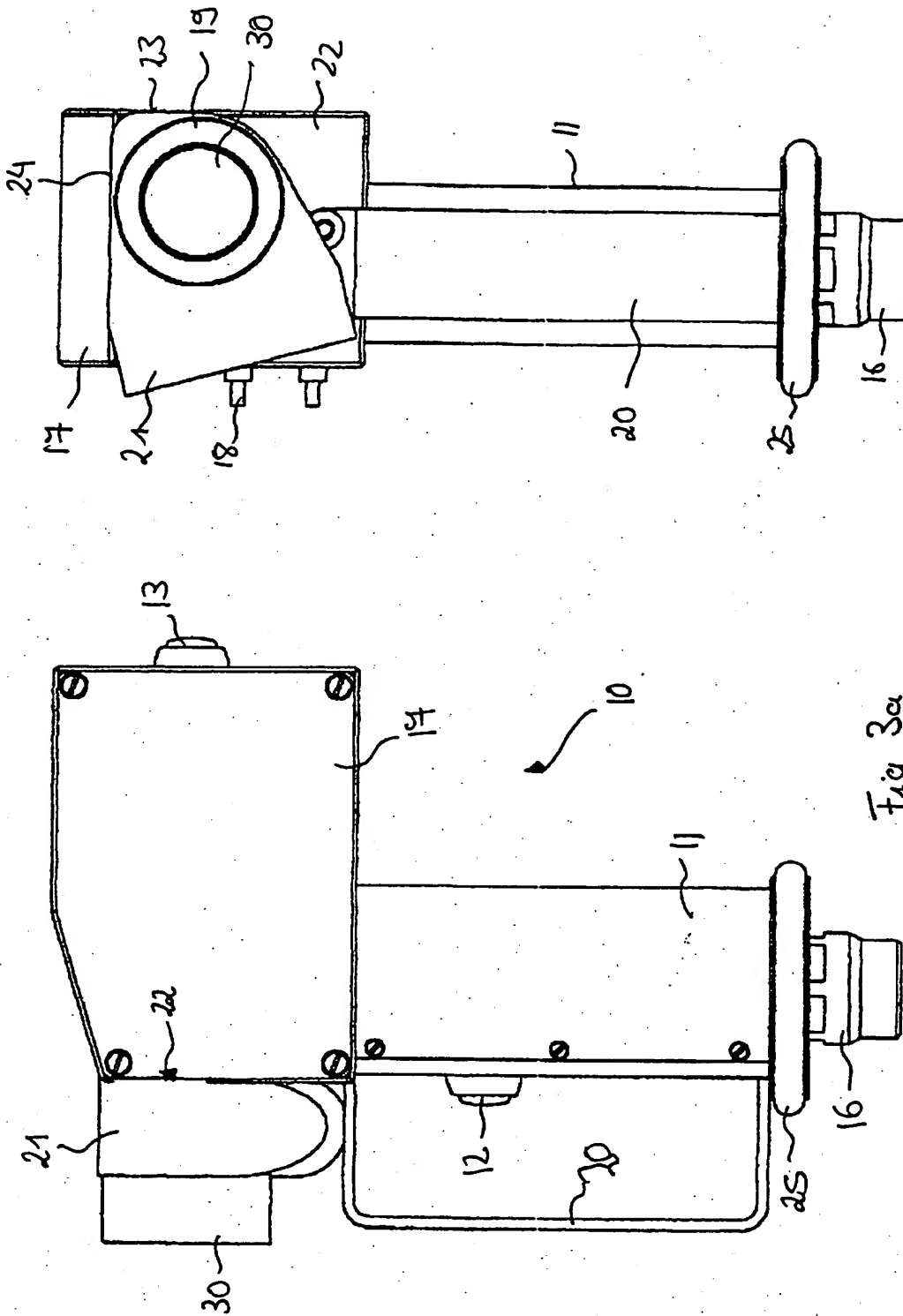


Fig. 3b

Fig. 3a

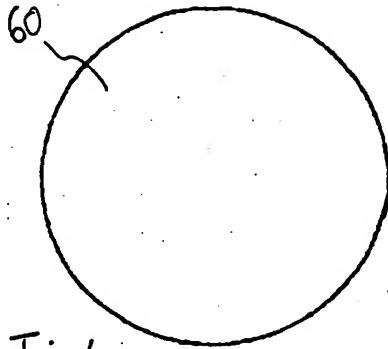


Fig. 4

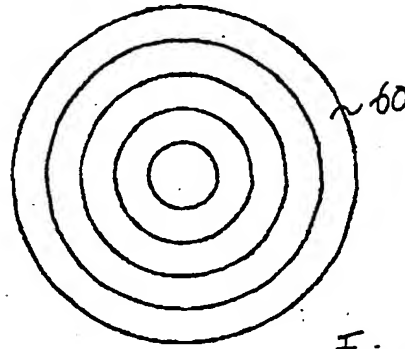


Fig. 5

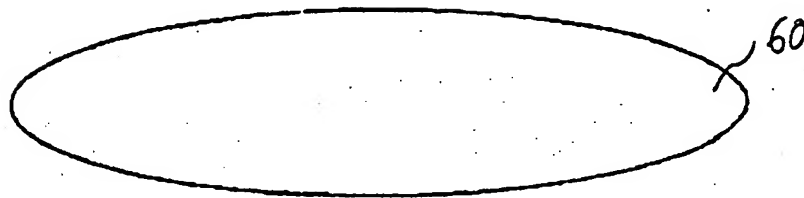


Fig. 6

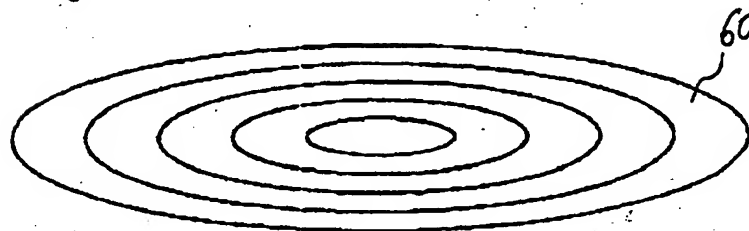


Fig. 7

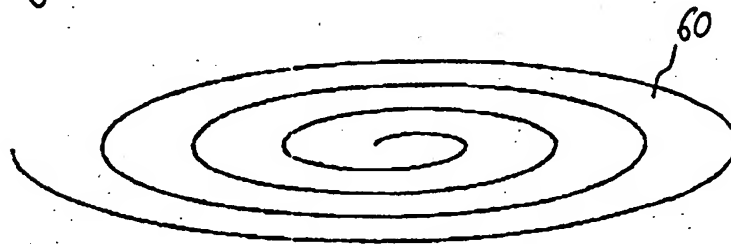


Fig. 8

